

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

DIALOG(R)File 352:Derwent WPI
(c) 2000 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

011211536 **Image available**

WPI Acc No: 1997-189461/199717

Related WPI Acc No: 1997-090892; 1997-090893; 1997-090894; 1997-189458;
1997-189459; 1997-189460

XRPX Acc No: N97-156475

Anti-ferroelectric LCD element for gradation display - changes layout of
liquid crystal molecules continuously perform gradation display, based on
apply voltage

Patent Assignee: CASIO COMPUTER CO LTD (CASK)

Inventor: OGURA ; SHIMODA S; TANAKA T; YOSHIDA T; OGURA J

Number of Countries: 002 Number of Patents: 003

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 9050050	A	19970218	JP 96151834	A	19960524	199717 B
US 5847799	A	19981208	US 96657017	A	19960528	199905
US 6122034	A	20000919	US 96657017	A	19960528	200048
			US 98141495	A	19980827	

Priority Applications (No Type Date): JP 95157120 A 19950531; JP 95157113 A
19950531; JP 95157116 A 19950531; JP 95157203 A 19950531; JP 95157215 A
19950531; JP 95157218 A 19950531; JP 95157227 A 19950531

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 9050050	A		18	G02F-001/141	
US 5847799	A			G02F-001/1335	
US 6122034	A			G02F-001/13	Div ex application US 96657017 Div ex patent US 5847799

Abstract (Basic): JP 9050050 A

The antiferroelectric LCD element forms a pixel electrode (13) on a
first substrate (11), and an opposing electrode (17) on a second
substrate (12). The liquid crystal molecules are uniformly mixed in the
weak dielectric phase, between the first and second substrates.

Based on the apply voltage, the molecule of one side of the layout
state changes to the other layout state. The layout direction of such
molecules changes continuously, and gradation display is performed.

ADVANTAGE - Enables clear display.

Dwg. 1/20

Title Terms: ANTI; FERROELECTRIC; LCD; ELEMENT; GRADATION; DISPLAY; CHANGE;
LAYOUT; LIQUID; CRYSTAL; MOLECULAR; CONTINUOUS; PERFORMANCE; GRADATION;
DISPLAY; BASED; APPLY; VOLTAGE

Derwent Class: P81; U14

International Patent Class (Main): G02F-001/13; G02F-001/1335; G02F-001/141

International Patent Class (Additional): G02F-001/133; G02F-001/1337;
G02F-001/1343

File Segment: EPI; EngPI

DIALOG(R)File 347:JAPIO
(c) 2000 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05435250 **Image available**
ANTIFERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DISPLAY ELEMENT

PUB. NO. : 09-050050 [JP 9050050 A]
PUBLISHED: February 18, 1997 (19970218)
INVENTOR(s): TANAKA TOMIO
 YOSHIDA TETSUSHI
 OGURA JUN
 SHIMODA SATORU
APPLICANT(s): CASIO COMPUT CO LTD [350750] (A Japanese Company or
 Corporation), JP (Japan)
APPL NO. : 08-151834 [JP 96151834]
FILED: May 24, 1996 (19960524)
INTL CLASS: [G] G02F-001/141; G02F-001/133; G02F-001/1337; G02F-001/1343
JAPIO CLASS: 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment)
JAPIO KEYWORD: R011 (LIQUID CRYSTALS); R119 (CHEMISTRY -- Heat Resistant
 Resins)

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to distinctly display gradation by enclosing liquid crystals of which the orientation states change while drawing cones and have the effect moving the molecules along the cones and of which the orientation directions change continuously according to impressed voltages.

SOLUTION: Transparent counter electrodes 17 facing the respective pixel electrodes 13 of a lower substrate 11 are formed on an upper substrate 12. The lower substrate 11 and the upper substrate 12 are adhered via frame-shaped sealing materials 20 at their outer peripheral edges and the liquid crystals 21 are enclosed into the region enclosed by the sealing materials 20 between the substrates 11 and 12. The liquid crystals 21 are composed of the antiferroelectric liquid crystals AFLC having a smectic CA* phase. The liquid crystal molecules in the second orientation state are partly changed to the first orientation state while drawing the cones when the voltage below the saturation voltage is impressed on the AFLC 21. The liquid crystal molecules in the second orientation state move (incline) by the prescribed quantity (prescribed angle) along the cones when the positive electric field is impressed. Namely, the orientation state changes according to the intensity of the impressed electric field. As a result, the displayed gradations for the impressed voltage are uniquely determined with respect to the impressed voltages and the arbitrary gradations are obtained

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-50050

(43) 公開日 平成9年(1997)2月18日

(51) Int.Cl.*	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所	
G 0 2 F	1/141		G 0 2 F	1/137	5 1 0
	1/133	5 5 0		1/133	5 5 0
	1/1337	5 0 5		1/1337	5 0 5
	1/1343			1/1343	

審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平8-151834

(22) 出願日 平成8年(1996)5月24日

(31) 優先権主張番号 特願平7-157120

(32) 優先日 平7(1995)5月31日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001443

カシオ計算機株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目6番1号

(72) 発明者 田中 富雄

東京都八王子市石川町2951番地の5 カシ
オ計算機株式会社八王子研究所内

(72) 発明者 吉田 哲志

東京都八王子市石川町2951番地の5 カシ
オ計算機株式会社八王子研究所内

(72) 発明者 小倉 潤

東京都八王子市石川町2951番地の5 カシ
オ計算機株式会社八王子研究所内

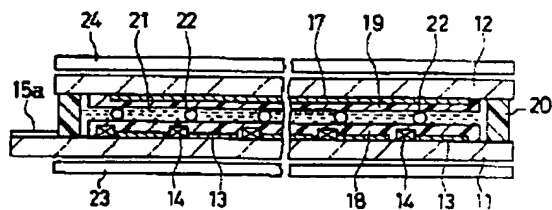
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反強誘電性液晶表示素子

(57) 【要約】

【課題】 アクティブマトリクスタイプの反強誘電性液晶表示素子に、明確な階調表示を行なわせることである。

【解決手段】 アクティブマトリクス方式の液晶表示素子に、液晶分子が2つの配向状態を有する反強誘電性液晶を封止する。反強誘電性液晶に電圧を印加すると、印加電圧に応じて、第1又は第2の状態にある液晶分子が第2又は第1の安定状態に選択的に変化する。このため、第1の安定状態にある液晶分子と第2の安定状態にある液晶分子の割合が、印加電圧に応じて連続的に変化する。さらに、液晶分子と印加電圧との相互作用により液晶分子がコーンを描いて動き、或いは、電界に対して直角方向に傾く。これらの複合的作用により、印加電圧に応じて、無数の光学的中間状態が生成される。従って、この光学的中間状態を用いることにより、階調表示が可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 対向する一対の基板の一方に画素電極を、他方の基板に前記画素電極に対向する対向電極をそれぞれ形成し、前記一対の基板間に、2つの配向状態の液晶分子がほぼ均一に混在する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて一方の配向状態の液晶分子が他方の配向状態にコーンを描いて変化すると共に前記コーンに沿って前記液晶分子が移動する作用を持つことにより、印加電圧に応じて、液晶分子の平均的な配向方向が連続的に変化する反強誘電性液晶を封入し、階調表示を可能としたことを特徴とする反強誘電性液晶表示素子。

【請求項2】 画素電極と画素電極に接続されたアクティブ素子がマトリクス状に複数配列された一方の基板と、前記画素電極に対向する対向電極が形成された他方の基板と、前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子がほぼ第1の配向方向に配列した第1の強誘電相と液晶分子がほぼ第2の配向方向に配列した第2の強誘電相と、第1の配向方向に配列した液晶分子と第2の配向方向に配列した液晶分子が混在することにより、ダイレクタの方向がスメクチックC^{*}相の層構造の層の法線方向にほぼ一致する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて、第1の配向方向と第2の配向方向の一方に配列した液晶分子が他方の配向方向に配列することにより、可視光帯域の光の波長より短い範囲で、異なった配向状態の領域が複数形成されると共に印加電圧に応じて液晶分子がコーンに沿って動くことにより、液晶分子の平均的な配向方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間配向の状態を有する反強誘電性液晶と、を備えたことを特徴とする反強誘電性液晶表示素子。

【請求項3】 一方の基板と、

前記一方の基板に対向して配置された他方の基板と、前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子がほぼ第1の配向方向に配列した第1の強誘電相と液晶分子がほぼ第2の配向方向に配列した第2の強誘電相と、第1の配向方向に配列した液晶分子と第2の配向方向に配列した液晶分子が混在することにより、ダイレクタの方向がスメクチックC^{*}相の層構造の層の法線方向にほぼ一致する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて、第1の配向方向と第2の配向方向の一方に配列した液晶分子が他方の配向方向に配列することにより、可視光帯域の光の波長より短い範囲で、異なった配向状態の領域が複数形成されると共に印加電圧に応じて液晶分子がコーンに沿って動くことにより、液晶分子の平均的な配向方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間配向の状態を有する反強誘電性液晶と、

前記反強誘電性液晶に電圧を印加して、この印加電圧を変えることにより、前記異なった配向状態の領域の割合を制御し、反強誘電性液晶のダイレクタの方向を前記第1と第2の配向方向の間の任意の方向に設定する制御手

段と、を備えたことを特徴とする反強誘電性液晶表示素子。

【請求項4】 対向する一対の基板の一方に画素電極を、他方の基板に前記画素電極に対向する対向電極をそれぞれ形成し、前記一対の基板間に、印加電圧に応じてコーンに沿って液晶分子が移動すると共に印加電圧による液晶分子の回転の抑制により液晶分子が傾くことにより、ダイレクタの方向が変化する反強誘電性液晶を封入し、階調表示を可能としたことを特徴とする反強誘電性液晶表示素子。

【請求項5】 画素電極と画素電極に接続されたアクティブ素子がマトリクス状に複数配列された一方の基板と、前記画素電極に対向する対向電極が形成された他方の基板と、

前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子がほぼ第1の配向方向に配列した第1の強誘電相と液晶分子がほぼ第2の配向方向に配列した第2の強誘電相と、第1の配向方向に配列した液晶分子と第2の配向方向に配列した液晶分子が混在することにより、ダイレクタの方向がスメクチックC^{*}相の層構造の層の法線方向にほぼ一致する反強誘電相を有し、印加電圧に対応して液晶分子がコーンを描いて動くと共に電界に対して垂直方向に傾くことにより、ダイレクタの方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間の状態を有する反強誘電性液晶と、

を備えたことを特徴とする反強誘電性液晶表示素子。

【請求項6】 一方の基板と、

前記一方の基板に対向して配置された他方の基板と、前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子がほぼ第1の配向方向に配列した第1の強誘電相と液晶分子がほぼ第2の配向方向に配列した第2の強誘電相と、第1の配向方向に配列した液晶分子と第2の配向方向に配列した液晶分子が混在することにより、ダイレクタの方向がスメクチックC^{*}相の層構造の層の法線方向にほぼ一致する反強誘電相を有し、印加電圧に対応して液晶分子がコーンを描いて動くと共に電界に対して垂直方向に傾くことにより、ダイレクタの方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間の状態を有する反強誘電性液晶と、

前記反強誘電性液晶に印加する電圧を制御して、液晶分子にコーンを描かせて動かすと共に電界に対して垂直方向に傾かせることにより、前記ダイレクタの方向を前記第1と第2の配向方向の間の所定の方向に設定する制御手段と、

を備えたことを特徴とする反強誘電性液晶表示素子。

【請求項7】 前記反強誘電性液晶は、スメクチックC^{*}相の液晶が螺旋構造を消失された状態で前記基板間に封止されて構成されている、ことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1つに記載の反強誘電性液晶表示素子。

【請求項8】 対向する一対の基板の一方に画素電極を、

他方の基板に前記画素電極に対向する対向電極をそれぞれ形成し、前記一対の基板間に、

2つの配向状態の液晶分子がほぼ均一に混在する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて前記二重螺旋構造の螺旋が歪むと共に螺旋の軸が傾くことにより、ダイレクタの方向が変化することにより、印加電圧に応じて、液晶分子の平均的な配向方向が連続的に変化する反強誘電性液晶を封入し、階調表示を可能としたことを特徴とする反強誘電性液晶表示素子。

【請求項9】画素電極と画素電極に接続されたアクティブ素子がマトリクス状に複数配列された一方の基板と、前記画素電極に対向する対向電極が形成された他方の基板と、

前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子の配列状態が互いに異なる第1と第2の強誘電相とスメクチックCA*相の二重螺旋構造をもって液晶分子が配列する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて前記二重螺旋構造の螺旋が歪むと共に螺旋の軸が傾くことにより、ダイレクタの方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間の状態を有する反強誘電性液晶と、を備えたことを特徴とする反強誘電性液晶表示素子。

【請求項10】一方の基板と、

前記一方の基板に対向して配置された他方の基板と、前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子の配列状態が互いに異なる第1と第2の強誘電相とスメクチックCA*相の二重螺旋構造をもって液晶分子が配列する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて前記二重螺旋構造の螺旋が歪むと共に螺旋の軸が傾くことにより、ダイレクタの方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間の状態を有する反強誘電性液晶と、前記反強誘電性液晶に電圧を印加して、前記二重螺旋構造の螺旋を歪めると共に螺旋の軸を傾けることにより、前記ダイレクタの方向を所定の方向に設定する制御手段と、を備えたことを特徴とする反強誘電性液晶表示素子。

【請求項11】前記螺旋軸の傾きは、印加電圧に応答して液晶分子がコーンを描いて変位すること、電圧の印加による分子の回転の抑制による液晶分子の傾きと、電圧の印加により液晶分子の配向方向が反転すること、の少なくともいずれか1つにより発生する、ことを特徴とする請求項8、9又は10に記載の反強誘電性液晶表示素子。

【請求項12】前記反強誘電性液晶表示素子は、さらに、前記反強誘電相における液晶分子の平均的な配向方向に平行又は直交する方向に光学軸が配置された第1の偏光板と、前記液晶を介して前記第1の偏光板に対向し、前記第1の偏光板の光学軸に平行又は直交するように光学軸が設定された第2の偏光板を備える、ことを特徴とする請求項1乃至11のいずれか1つに記

載の反強誘電性液晶表示素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は反強誘電性液晶（AFLC、AntiFerroelectric Liquid Crystal）を用いた液晶表示素子に関し、特に、階調表示が可能なAFLC液晶表示素子に関する。

【0002】

【従来の技術】強誘電性液晶を用いる強誘電性液晶表示素子は、ネマティック液晶を用いるTNモードの液晶表示素子と比較して、高速応答、広い視野角が得られる等の点で注目されている。

【0003】強誘電性液晶表示素子として、強誘電性液晶を用いた強誘電性液晶表示素子と反強誘電性液晶を用いた反強誘電性液晶表示素子とが知られている。

【0004】反強誘電性液晶表示素子は、反強誘電性液晶が備える配向状態の安定性を利用して画像を表示するものである。即ち、反強誘電性液晶は、液晶分子の配向に3つの安定状態を有し、第1のしきい値以上の電圧を該液晶に印加したとき、印加電圧の極性に応じて液晶分子が第1の配向方向に配列する第1の強誘電相または第2の配向方向に配列する第2の強誘電相に配向し、前記第1のしきい値より低い第2のしきい値以下の電圧を印加したとき、第1と第2の強誘電相の中間の配列状態である反強誘電相に配向する。液晶表示素子の両側に配置する一対の偏光板の透過軸の方向を反強誘電相の光学軸を基準にして設定することにより、図20にその印加電圧一透過率特性を示すように、光の透過率を制御して画像を表示することができる。

【0005】反強誘電性液晶は、印加電圧が変化しても、上記第1と第2のしきい値の間の範囲であれば、第1または第2の強誘電相または反強誘電相に配向した状態を維持するというメモリ性を有している。従来の反強誘電性液晶表示素子は、このメモリ性を利用して単純マトリクス駆動されている。

【0006】反強誘電性液晶の配向状態のメモリ性は、液晶が第1または第2の強誘電相から反強誘電相に相転移する電圧と、反強誘電相から第1または第2の強誘電相に相転移する電圧との電圧差によって定まり、この電圧差が大きいほど、配向状態のメモリ性が高い。即ち、光学特性のヒステリシスが大きい程メモリ性が高い。このため、従来の単純マトリクス駆動される反強誘電性液晶表示素子では、反強誘電性液晶として、上記電圧差が大きい液晶を用いている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、メモリ性の高い反強誘電性液晶を用いる従来の反強誘電性液晶表示素子は、光の透過率を任意に制御することができず、表示階調の制御がほとんど不可能で、階調表示を実現することはできなかった。

【0008】この発明は上記実状に鑑みてなされたもので、明確な階調表示を実現できる反強誘電性液晶表示素子を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明の第1の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子は、対向する一対の基板の一方に画素電極を、他方の基板に前記画素電極に対向する対向電極をそれぞれ形成し、前記一対の基板間に、2つの配向状態の液晶分子がほぼ均一に混在する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて一方の配向状態の液晶分子が他方の配向状態にコーンを描いて変化すると共に前記コーンに沿って前記液晶分子が移動する作用を持つことにより、印加電圧に応じて、液晶分子の平均的な配向方向が連続的に変化する反強誘電性液晶を封入し、階調表示を可能としたことを特徴とする。

【0010】また、この発明の第2の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子は、画素電極と画素電極に接続されたアクティブ素子がマトリクス状に複数配列された一方の基板と、前記画素電極に対向する対向電極が形成された他方の基板と、前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子がほぼ第1の配向方向に配列した第1の強誘電相と液晶分子がほぼ第2の配向方向に配列した第2の強誘電相と、第1の配向方向に配列した液晶分子と第2の配向方向に配列した液晶分子が混在することにより、ダイレクタの方向がスメクチックC^{*}A^{*}相の層構造の層の法線方向にほぼ一致する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて、第1の配向方向と第2の配向方向の一方に配列した液晶分子が他方の配向方向に配列することにより、可視光帯域の光の波長より短い範囲で、異なった配向状態の領域が複数形成されると共に印加電圧に応じて液晶分子がコーンに沿って動くことにより、液晶分子の平均的な配向方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間配向の状態を有する反強誘電性液晶と、を備えたことを特徴とする。

【0011】また、この発明の第3の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子は、一方の基板と、前記一方の基板に対向して配置された他方の基板と、前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子がほぼ第1の配向方向に配列した第1の強誘電相と液晶分子がほぼ第2の配向方向に配列した第2の強誘電相と、第1の配向方向に配列した液晶分子と第2の配向方向に配列した液晶分子が混在することにより、ダイレクタの方向がスメクチックC^{*}A^{*}相の層構造の層の法線方向にほぼ一致する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて、第1の配向方向と第2の配向方向の一方に配列した液晶分子が他方の配向方向に配列することにより、可視光帯域の光の波長より短い範囲で、異なった配向状態の領域が複数形成されると共に印加電圧に応じて液晶分子がコーンに沿って動くことにより、液晶分子の平均的な配向方向が変化し、前記強誘電

相と前記反強誘電相の間の中間配向の状態を有する反強誘電性液晶と、前記反強誘電性液晶に電圧を印加して、この印加電圧を変えることにより、前記異なった配向状態の領域の割合を制御し、反強誘電性液晶のダイレクタの方向を前記第1と第2の配向方向の間の任意の方向に設定する制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0012】この発明の第1乃至第3の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子によれば、印加電圧に応じて一方の配向状態の液晶分子が他方の配向状態に変化するため、2つの配向状態の液晶分子の割合が印加電圧に応じて変化し、配向状態の異なる微小な領域が可視光帯域の光の波長の内に複数存在し、これらの領域の光学特性が平均化される。また、印加電圧に応じて、液晶分子のチルトが変化する。これらの複合的作用により、ダイレクタ（液晶分子の長軸の平均的方向）が印加電圧に応じて連続的に変化し、多数の中間的配向状態が発生する。この中間的配向状態を用いて中間調を表示することができる。

【0013】また、上記目的を達成するため、この発明の第4の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子は、対向する一対の基板の一方に画素電極を、他方の基板に前記画素電極に対向する対向電極をそれぞれ形成し、前記一対の基板間に、印加電圧に応じてコーンに沿って液晶分子が移動すると共に印加電圧による液晶分子の回転の抑制により液晶分子が傾くことにより、ダイレクタの方向が変化する反強誘電性液晶を封入し、階調表示を可能としたことを特徴とする。

【0014】この発明の第5の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子は、画素電極と画素電極に接続されたアクティブ素子がマトリクス状に複数配列された一方の基板と、前記画素電極に対向する対向電極が形成された他方の基板と、前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子がほぼ第1の配向方向に配列した第1の強誘電相と液晶分子がほぼ第2の配向方向に配列した第2の強誘電相と、第1の配向方向に配列した液晶分子と第2の配向方向に配列した液晶分子が混在することにより、ダイレクタの方向がスメクチックC^{*}A^{*}相の層構造の層の法線方向にほぼ一致する反強誘電相を有し、印加電圧に対応して液晶分子がコーンを描いて動くと共に電界に対して垂直方向に傾くことにより、ダイレクタの方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間の状態を有する反強誘電性液晶と、を備えたことを特徴とする。

【0015】この発明の第6の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子は、一方の基板と、前記一方の基板に対向して配置された他方の基板と、前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子がほぼ第1の配向方向に配列した第1の強誘電相と液晶分子がほぼ第2の配向方向に配列した第2の強誘電相と、第1の配向方向に配列した液晶分子と第2の配向方向に配列した液晶分子が混在することにより、ダイレクタの方向がスメクチックC^{*}A^{*}相の

層構造の層の法線方向にほぼ一致する反強誘電相を有し、印加電圧に対応して液晶分子がコーンを描いて動くと共に電界に対して垂直方向に傾くことにより、ダイレクタの方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間の状態を有する反強誘電性液晶と、前記反強誘電性液晶に印加する電圧を制御して、液晶分子にコーンを描かせて動かすと共に電界に対して垂直方向に傾かせることにより、前記ダイレクタの方向を前記第1と第2の配向方向の間の所定の方向に設定する制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0016】この発明の第4乃至第6の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子によれば、印加電圧に対応して液晶分子のチルトが変化すると共に液晶分子の回転が抑制されて、液晶分子が傾く。これらの複合作用により、ダイレクタの平均的な方向が印加電圧に応じて連続的に変化し、多数の中間的配向状態が発生する。この中間的配向状態を用いて中間調を表示することができる。

【0017】上記目的を達成するため、この発明の第7の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子は、対向する一対の基板の一方に画素電極を、他方の基板に前記画素電極に対向する対向電極をそれぞれ形成し、前記一対の基板間に、スメクチックC^{*}A^{*}相の二重螺旋構造をもって液晶分子が配列する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて前記二重螺旋構造の螺旋が歪むと共に螺旋の軸が傾くことにより、ダイレクタの平均的な方向が変化する反強誘電性液晶を封入し、階調表示を可能としたことを特徴とする。

【0018】上記目的を達成するため、この発明の第8の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子は、画素電極と画素電極に接続されたアクティブ素子がマトリクス状に複数配列された一方の基板と、前記画素電極に対向する対向電極が形成された他方の基板と、前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子の配列状態が互いに異なる第1と第2の強誘電相とスメクチックC^{*}A^{*}相の二重螺旋構造をもって液晶分子が配列する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて前記二重螺旋構造の螺旋が歪むと共に螺旋の軸が傾くことにより、ダイレクタの方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間の状態を有する反強誘電性液晶と、を備えたことを特徴とする。

【0019】上記目的を達成するため、この発明の第9の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子は、一方の基板と、前記一方の基板に対向して配置された他方の基板と、前記一方と他方の基板の間に封入され、液晶分子の配列状態が互いに異なる第1と第2の強誘電相とスメクチックC^{*}A^{*}相の二重螺旋構造をもって液晶分子が配列する反強誘電相を有し、印加電圧に応じて前記二重螺旋構造の螺旋が歪むと共に螺旋の軸が傾くことにより、ダイレクタの方向が変化し、前記強誘電相と前記反強誘電相の間の中間の状態を有する反強誘電性液晶と、前記反強誘電性液晶に電圧を印加して、前記二重螺旋構造の螺旋

を歪めると共に螺旋の軸を傾けることにより、前記ダイレクタの方向を所定の方向に設定する制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0020】前記螺旋軸の傾きは、(1)印加電圧に応答して液晶分子がコーンを描いて変位すること、(2)印加電圧による液晶分子の回転の抑制により液晶分子が傾くこと、(3)印加電圧により液晶分子の配向方向が反転すること、等により発生する。

【0021】この発明の第7乃至第9の観点にかかる反強誘電性液晶表示素子によれば、印加電圧に応じて前記二重螺旋構造の螺旋が歪むと共に螺旋の軸が印加電圧に応じて傾く。従って、ダイレクタが連続的に変化する。従って、印加電圧に応じて、強誘電相と反強誘電相の間の多数の中間的配向状態が発生する。この中間的配向状態を用いて中間調を表示することができる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

(第1の実施の形態) まず、第1の実施の形態の反強誘電性液晶表示素子の構成を説明する。図1は反強誘電性液晶表示素子の断面図、図2は画素電極とアクティブ素子を形成した基板の平面図である。

【0023】この反強誘電性液晶表示素子は、アクティブマトリクス方式のものであり、一対の透明基板（例えば、ガラス基板）11、12のうち、図1において下側の基板（以下、下基板）11には透明な画素電極13と画素電極13に接続されたアクティブ素子14とがマトリクス状に配列形成されている。

【0024】アクティブ素子14は、例えば、薄膜トランジスタ（以下、TFT）から構成される。TFT14は、基板11上に形成されたゲート電極と、ゲート電極を覆うゲート絶縁膜と、ゲート絶縁膜の上に形成された半導体層と、半導体層の上に形成されたソース電極及びドレイン電極とから構成される。

【0025】さらに、下基板11には、図2に示すように、画素電極13の行間にゲートライン（走査ライン）15が配線され、画素電極13の列間にデータライン（階調信号ライン）16が配線されている。各TFT14のゲート電極は対応するゲートライン15に接続され、ドレイン電極は対応するデータライン16に接続されている。

【0026】ゲートライン15は、端部15aを介して行ドライバ（行駆動回路）31に接続され、データライン16は端部16aを介して列ドライバ（列駆動回路）32に接続される。行ドライバ31は、後述するゲート信号を印加して、ゲートライン15をスキャンする。一方、列ドライバ32は、表示データ（階調データ）を受け、データライン16に表示データに対応するデータ信号を印加する。

【0027】ゲートライン15は端部15aを除いてT

FT14のゲート絶縁膜（透明膜）で覆われており、データライン16は前記ゲート絶縁膜の上に形成されている。画素電極13は前記ゲート絶縁膜の上に形成されており、その一端部においてFT14のソース電極に接続されている。

【0028】図1において、上側の基板（以下、上基板）12には、下基板11の各画素電極13と対向する透明な対向電極17が形成されている。対向電極17は表示領域全体にわたる面積の1枚の電極から構成され、基準電圧V0が印加されている。

【0029】下基板11と上基板12の電極形成面には、それぞれ配向膜18、19が設けられている。配向膜18、19はポリイミド等の有機高分子化合物からなる水平配向膜であり、その対向面には同一方向にラビングによる配向処理が施されている。

【0030】下基板11と上基板12は、その外周縁部において枠状のシール材20を介して接着されており、基板11、12間のシール材20で囲まれた領域には液晶21が封入されている。

【0031】液晶21は、スメクチックCA*相（SmCA*相）を有する反強誘電性液晶（以下、AFLC）から構成され、その層の厚さは、透明なギャップ材22により規制されている。ギャップ材22は液晶封入領域内に点状状態で配置されている。

【0032】AFLC21は、十分高い電圧が印加された時、印加された電圧の極性に応じて、液晶分子が図3に示す第1の配向方向21Aに配列した第1の強誘電相と前記第1の配向方向と異なる第2の配向方向に配列した第2の強誘電相、及びダイレクタ（液晶分子の平均的配向方向）がSmCA*相の層構造の層（スメクチック層）の法線方向21Cにほぼ一致した状態の反強誘電相と、これらの中間状態を呈する。

【0033】液晶表示素子の上下には、一対の偏光板23、24が配置されている。偏光板23、24の光学軸（以下、透過軸とする）は、AFLC21の液晶分子の配向方向に基づいて設定されている。即ち、図3に示すように、下側の偏光板23の透過軸23Aはスメクチック層の法線方向21Cにほぼ一致するスメクチック層の法線方向とほぼ平行に設定され、上側偏光板24の透過軸24Aは下偏光板23の透過軸23Aにほぼ直角に設定されている。

【0034】図3に示すように、偏光板23、24の透過軸23A、23Bを設定した反強誘電性液晶表示素子は、AFLC21のダイレクタが第1又は第2の配向方向21A、21Bにほぼ配向した強誘電相の時に透過率がほぼ最大（表示が最も明るく）になり、ダイレクタの平均的方向がスメクチック層の法線方向21Cに向くよ

うにほぼ配向した反強誘電相の時に透過率がほぼ最小（表示が最も暗く）になる。

【0035】すなわち、液晶分子が第1又は第2の配向方向21A、21Bを向いた状態では、入射側の偏光板23の透過軸23Aを通過した直線偏光はAFLC21の複屈折作用により非直線偏光となり、出射側偏光板24の透過軸24Aと平行な成分が射出し、表示は明るくなる。一方、AFLC21のダイレクタがスメクチック層の法線方向21Cを向いた状態では、その光学軸がスメクチック層の法線方向に向くため、入射側の偏光板23を通った直線偏光はAFLC21の複屈折作用をほとんど受けず、直線偏光のままAFLC21を通過し、そのほとんどが出射側の偏光板24で吸収され、表示が暗くなる。また、AFLC21が光学的中間状態の時は、ダイレクタの平均的な方向に応じた階調が得られる。

【0036】次に、AFLC21について詳細に説明する。AFLC21は、例えば、コーンアングルが30°から45°（望ましくは、35°以上）と大きく、I、SmA、SmCA*というシーケンスで相転移するSmCA*相の液晶から構成され、図4に示すように、バルクの状態では分子配列の層構造と螺旋構造を有している。通常の強誘電性液晶と異なり、隣接する液晶分子は層毎にコーンのほぼ180°シフトして螺旋を描いた二重螺旋構造を有する。

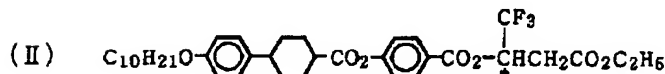
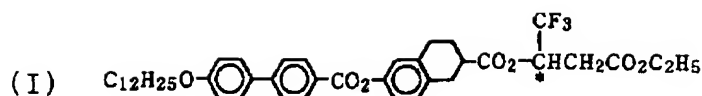
【0037】AFLC21の層の厚さ（セルギャップ）は、AFLC21の螺旋構造のピッチ（ナチュラルピッチ）よりも小さく形成されている。このため、AFLC21は、図5に模式的に示すように、二重螺旋構造を消失した状態で基板11、12間に封止されている。なお、セルギャップをAFLC21の螺旋構造の1ピッチよりも大きくし、代わりに、配向膜18、19の表面を安定化することにより、表面安定化効果により、二重螺旋構造を消失させてもよい。

【0038】この実施の形態のAFLC21は、反強誘電相を維持しようとする反強誘電性的相互作用が弱く、強誘電相になり易い相互作用である強誘電的相互作用が比較的強く、また、分子長軸回りの回転力が強い。

【0039】このような特性を有するAFLC21とは、例えば、化1-(I)に示す骨格構造を有する液晶と化1-(II)に示す骨格構造を有する液晶とを、それぞれ60重量%と40重量%で混合することにより得られる。この液晶は、コーンアングルが約30°、I、SmA、SmCA*というシーケンスで相転移するSmCA*相の液晶であり、バルクの状態では分子配列の層構造と二重螺旋構造を有している。

【0040】

【化1】



【0041】次に、図6を参照して、印加電圧による液晶分子の配向の変化を説明する。電圧無印加の状態では、図5及び図6(A)に示すように、液晶分子は第1と第2の配向方向21Aと21Bを層毎に交互に向いた状態となる。即ち、層毎に第1の配向状態と第2の配向状態を繰り返す状態になる。この状態では、層内では自発分極が発生するが、隣接する層の永久双極子が互いに反対方向を向き、双極子モーメントが互いに打ち消しあって総合的には自発分極は存在せず、反強誘電相となる。空間的に平均されたAFLC21の光学軸は液晶分子の平均的な配向方向、即ち、ダイレクタの方向であるスメクチック層の法線方向21Cとなる。また、この状態では、液晶分子は、反強誘電的相互作用により拘束されながらその長軸の回りに回転している。

【0042】前述のように、AFLC21は、強誘電的相互作用が強い。即ち、液晶分子は並列に配向しやすい性質を有する。このため、AFLC21に飽和電圧 E_c 未満の電圧 E を印加すると、第2の配向状態にある液晶分子の一部が、図7に示すコーンを描いて、図6(B)及び(C)に示すように、第1の配向状態に変化する。第1の配向状態の液晶分子の数(割合)は、印加電圧 E が大きくなるに従って多くなる。

【0043】また、AFLC21は、反強誘電的相互作用の弱い液晶である。即ち、反強誘電相の配向状態を維持する相互作用が弱い。このため、正の電界 E が印加されると、第2の配向状態の液晶分子は、コーン(液晶分子が通常の配向の切り替わり時に描く軌跡)に沿って所定量(所定角度)動く(傾く)。一方、第1の配向状態に配向していた液晶分子は自発分極との相互作用による力が大きいので動かない。

【0044】さらに、印加電圧により、液晶分子の長軸周りの回転が抑制されて自発分極が発生する。この自発分極と電界の相互作用により、電界 E と垂直な面(y-z面)内で液晶分子は傾く。この動きは、コーンをはずれた動きとなる。

【0045】これらが総合的に作用するため、液晶分子の配向方向は、図6(B)及び(C)に破線で示すように、無電界時の第1の配向方向又は第2の配向方向に配列した状態からずれる。即ち、第2の配向状態にある液晶分子の傾き角 $\delta 2$ は、電界によるコーン上の動きと回転の抑制によるコーンからはずれた動きの総合的な作用により、第1の配向状態にある液晶分子の傾き角 $\delta 1$ は回転の抑制によるものであり、傾き角 $\delta 1$ と $\delta 2$ の大きさ

は共に印加電界の強度に応じて変化する。

【0046】正極性の印加電圧 E の上昇に伴う第1の配向状態の液晶分子の増加と、各液晶分子の傾きの増加との複合作用により、印加電圧の上昇に伴ってダイレクタはスメクチック層の法線方向21Cから第1の配向方向21Aに向かって連続的に変化する。

【0047】また、逆極性で飽和電圧 E_c 未満の電圧 E を印加すると、図6(E)及び(F)に示すように、印加電圧 E の大きさに応じて、第1の配向状態にある液晶分子の一部が第2の配向状態に変化する。配向状態が変化する分子の数(割合)は印加電圧が大きくなるに従って大きくなる。

【0048】また、印加電圧に応じて液晶分子がコーンに沿って動き、第2の配向方向21Bに向かって動く。しかし、第2の配向方向21Bに配向していた液晶分子は自発分極との相互作用による力が大きいので動かない。

【0049】また、印加電圧 E の大きさに応じて液晶分子の長軸周りの回転が抑制されて、自発分極が発生する。この自発分極と電界の相互作用により、電界と垂直な方向に液晶分子は傾く。コーンに沿った動きと回転の抑制による傾きにより、各液晶分子は、例えば、図6(E)及び(F)に破線で示すように、第1又は第2の配向状態の位置からずれる。第1の配向状態にある液晶分子の傾き角(ずれ角) $\delta 3$ は、コーン上の傾きと回転の抑制によるものであり、第2の配向状態にある液晶分子の傾き角 $\delta 4$ は回転の抑制によるものであり、傾き角 $\delta 3$ と $\delta 4$ の大きさは共に印加電界の強度に応じて変化する。

【0050】負極性の印加電圧の上昇に伴って、第2の配向状態の液晶分子の増加と液晶分子の傾きの増加とが複合的に増加する。このため、負極性の印加電圧の上昇に伴い、ダイレクタは第2の配向方向21Bに向かって連続的に変化する。

【0051】一方、AFLC21にある一定値 E_c 以上の電圧(飽和電圧)を印加することにより、図6(D)及び(G)に示すように、印加電圧の極性に応じて液晶分子は第1又は第2の配向状態の一方になる。この状態では、隣接する層の永久双極子が互いに同一方向を向き、自発分極が存在し、第1又は第2の強誘電相となる。この状態では、印加電界により液晶分子の回転は強く抑制されており、大きな分極が見れる。

【0052】上述の液晶分子の動作が総合的に発生する

結果、AFLC21内には、図8に模式的に示すように、第1の配向状態に液晶分子が配列した微小領域と第2の配向状態に液晶分子が配列した微小領域が、可視光帯域の光の波長よりも短い距離内に多数形成され、これらの微小領域の面積又は数の割合が印加電圧に応じて変化する。また、各微小領域内のAFLC21のダイレクタは、液晶分子のコーンに沿った傾き及び回転の抑制により傾く。

【0053】各微小領域のサイズが可視領域の光の波長よりも小さいため、光学的には、これらの微小領域の光学特性が平均化される。従って、ダイレクタの方向がAFLC21の実質的な光学軸となる。そして、この光学軸は印加電圧の変化に伴う液晶分子の配向の変化に応じて連続的かつほぼ第1の配向方向と第2の配向方向との間で連続的に変化する。

【0054】このため、偏光板23、24を図3に示すように配置し、0.1Hz程度の十分低周波の三角波電圧を画素電極13と対向電極17との間に印加して得られる光学特性は、例えば、図9又は図10に示すように、印加電圧0V近傍において平坦な部分がなく、印加電圧の絶対値の上昇に伴って光学特性も連続的にめらめらに変化し、閾値が存在しないものとなる。さらに、印加電圧の極性に対して透過率のカーブも対称となる。また、絶対値が一定の値(E_c)以上の電圧が印加されると、ほぼ全ての液晶分子が第1又は第2の配向状態に配向し、透過率はほぼ飽和するものの、液晶分子の回転の抑制による傾きのために、わずかに透過率が上昇する。さらに、ヒステリシスが小さくなる。

【0055】以上説明したように、この実施の形態の液晶表示素子によれば、印加電圧に対し表示階調が一義的に定まり、しかも、任意の階調を得ることができる。従って、上述のように、液晶表示素子をアクティブマトリクス型として、各画素の非選択期間に、印加電圧を表示階調に対応するほぼ一定値に維持することにより、任意の階調が表示可能となる。

【0056】次に、上記構成の液晶表示素子に階調表示を行わせる場合の駆動方法について説明する。図11

(A)は、行ドライバ31が第1行のTFT14に接続されたゲートライン15に印加するゲート信号の波形を示し、図11(B)は、列ドライバ32がデータライン16に印加するデータ信号の波形を示し、図11(C)は各画素に保持される電圧を示す。なお、理解を容易にするため、第1行の画素用のデータ信号のみ示し、他の行用のデータ信号は図示しない。

【0057】図11(A)～図11(C)において、TFは1フレーム期間、TSは第1行の画素の選択期間、TOは非選択期間を示す。各選択期間TSは、例えば、約60μ秒である。図11(B)に示すように、連続する2つのフレームの選択期間TSに、表示階調に応じ、極性が反対で絶対値が同一の電圧値VD、-VDを有す

る駆動パルス(書き込みパルス)をデータライン16に印加する。即ち、1つの映像信号(表示データ)について、電圧値が+VDと-VDの2つの駆動パルスを2つのフレームの各選択期間TSにそれぞれ1つずつAFLC21に印加する。駆動パルスの極性及び電圧値は、データ信号の基準電圧V0に対する極性と電圧である。基準電圧V0は対向電極17に印加する電圧と同一である。

【0058】この駆動方法では、書き込み電圧VDの最小値をV0とし、最大値Vmaxを透過率の飽和が起こる電圧Ecよりも若干低い値として、V0～Vmaxの範囲で書き込み電圧VDを制御する。

【0059】上記のような波形のゲート信号とデータ信号とを用いて上記反強誘電性液晶表示素子を駆動すると、各行の選択期間TSに、駆動パルスの電圧(書き込み電圧)VDがゲート信号によりオンしているTFT14を介して画素電極13に印加される。ゲート信号がオフし、非選択期間TOになると、TFT14がオフ状態になり、図11(C)に示すように、書き込み電圧VDが、画素電極13と対向電極17とその間のAFLC21とで形成される容量(画素容量)に保持される。このため、図11(C)に示すように非選択期間TOの間、その画素の透過率が、画素容量の保持電圧に対応する値に維持される。

【0060】この実施の形態では、AFLC21として印加電圧の変化に対する明確な閾値を有さず、透過率が連続的に変化するものを使用し、しかも、図3に示す光学配置を採用して、従って、書き込み電圧VDの絶対値に対する透過率が一義的に定まり、書き込み電圧VDの絶対値により透過率を制御して、明確な階調表示を実現できる。また、連続する2つのフレームにより、1つの画素データに対する正負逆極性の電圧+VDと-VDをAFLC21に印加しているので、正負の電圧に対する光学特性が若干異なってもこれらの光学的変化の平均値として観察されるので、正負逆極性の電圧に対する光学的特性に差があっても明確な階調表示が可能である。

【0061】また、連続する2つのフレームで、極性が逆で絶対値が等しい電圧+VDと-VDを各画素(AFLC21)に印加するので、AFLC21に直流電圧成分が片寄って印加されることがない。従って表示の焼き付き現象やAFLC21の劣化を生ずることもない。

【0062】(第2の実施の形態)第1の実施の形態においては、印加電圧により、液晶分子の長軸回りの回転が抑制されることにより、液晶分子が傾く反強誘電性液晶を使用した。印加電圧による液晶分子の長軸回りの回転の抑制によっても液晶分子の傾きが発生しにくい反強誘電性液晶を使用することも可能である。以下、このような液晶を使用する第2の実施の形態を説明する。

【0063】なお、この実施の形態の液晶表示素子の構

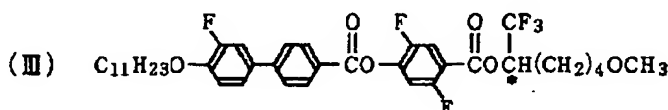
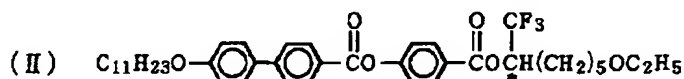
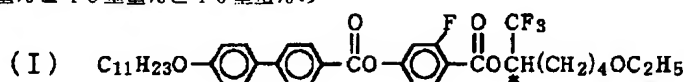
造は、図1～図3に示す構成と同一である。この実施の形態のAFLC21は、反強誘電相を維持しようとする反強誘電性的相互作用が比較的弱く、強誘電相になり易い相互作用である強誘電的相互作用が比較的強い液晶組成物からなる。

【0064】このような特性を有するAFLC21は、例えば、化2-(I)～(III)に示す主構造を有する液晶を、それぞれ20重量%と40重量%と40重量%の

割合で混合することにより得られる。この液晶は、コーンアングルが約30°、I、SmA、SmCA*というシーケンスで相転移するSmCA*相の液晶であり、バルクの状態では分子配列の層構造と二重螺旋構造を有している。

【0065】

【化2】



【0066】この種の液晶をAFLC21として使用した場合、電圧無印加の状態では、図12(A)に示すように、液晶分子は第1と第2の配向方向21Aと21Bを層毎に交互に向いた状態となる。この状態では、層内では自発分極が発生するが、隣接する層の永久双極子が互いに反対方向を向き、双極子モーメントが互いに打ち消し合って総合的には自発分極は存在せず、反強誘電相となる。空間的に平均されたAFLC21の光学軸は液晶分子の平均的な配向方向、即ち、ダイレクタの方向であるスメクチック層の法線方向21Cとなる。

【0067】前述のように、AFLC21は、強誘電的相互作用が強い。即ち、液晶分子は並列に配向しやすい性質を有する。このため、AFLC21に飽和電圧 E_c 未満の正極性の電圧 E を印加すると、図12(B)及び(C)に示すように、印加電圧 E の大きさに応じて、第2の配向状態にある液晶分子の一部が第1の配向状態に変化する。配向状態が変化する分子の数(割合)は、印加電圧 E が大きくなるに従って多くなる。

【0068】また、分子長軸が第2の配向方向21Bに配向した第2の配向状態の液晶分子に、電界との相互作用による力が働いて、図12(B)及び(C)に破線で示すように、第2の配向状態の液晶分子はコーンに沿って所定量(所定角度)動く。この移動量(移動角度)は印加電圧の値に対応する。

【0069】正極性の印加電圧 E の上昇に伴い、第1の配向状態の液晶分子が増加すると共に第2の配向状態の液晶分子の傾きが増加する。このため、ダイレクタは、印加電圧の上昇に伴って、スメクチック層の法線方向21Cから第1の配向方向21Aに向かって連続的に変化する。

【0070】また、負極性で飽和電圧 E_c 未満の電圧 E

を印加すると、図12(E)及び(F)に示すように、印加電圧 E の大きさに応じて、第1の配向状態にある液晶分子の一部は第2の配向状態に変化する。

【0071】また、第1の配向状態にある液晶分子が、印加電圧に応じて、コーンに沿って、第2の配向方向21Bに向かって動く。しかし、第2の配向方向21Bに配向していた液晶分子は自発分極との相互作用による力が大きいため動かない。

【0072】このように、負極性の印加電圧の上昇に伴って、第2の配向状態の液晶分子と第1の配向状態の液晶分子の傾きが複合的に増加する。このため、負極性の印加電圧の上昇に伴い、ダイレクタは第2の配向方向21Bに向かって連続的に変化する。

【0073】一方、AFLC21にある一定値 E_c 以上の電圧(飽和電圧)を印加することにより、図12(D)及び(G)に示すように、印加電圧の極性に応じて液晶分子は第1又は第2の配向状態の一方になる。この状態では、隣接する層の永久双極子が互いに同一方向を向き、自発分極が存在し、第1又は第2の強誘電相となる。この状態では、印加電界により液晶分子の回転は強く抑制されており、大きな分極が現れる。

【0074】以上説明した現象により、この実施の形態のAFLC21も、その内部に、図8に示すように、第1の配向状態に液晶分子が配列した微小領域と第2の配向状態に液晶分子が配列した微小領域が、可視光帯域の光の波長よりも短い距離内に多数形成される。これらの微小領域の面積又は数の割合が印加電圧に応じて変化する。また、各微小領域内のAFLC21のダイレクタは、液晶分子のコーンに沿った傾きにより傾く。

【0075】各微小領域のサイズが可視領域の光の波長よりも小さいため、これらの微小領域の光学特性が平均

化される。従って、ダイレクタの方向がAFLC21の実質的な光学軸となる。そして、この光学軸は印加電圧の変化に伴う液晶分子の配向の変化に応じて連続的に変化する。従って、この種の反強誘電性液晶を用いて、階調表示が可能である。

【0076】（第3の実施の形態）第1及び第2の実施の形態では、スメクチックC^{*}の二重螺旋構造を消失させた状態でAFLC21を基板11と12の間に封入したが、例えば、図13に示すように、螺旋構造を保持したままAFLC21を基板11と12の間に封入してもよい。

【0077】この実施の形態の液晶としては、例えば、化1又は化2に示す構成の反強誘電性液晶を、そのまま使用することができる。

【0078】例えば、化1の反強誘電性液晶を使用した場合、電圧無印加の状態では、図13に示すように、液晶分子は180°シフトした2つの螺旋を描く。AFLC21の空間的に平均された光学軸は液晶分子の平均的な配向方向であるスメクチック層の法線方向21Cに平行な方向になる。

【0079】AFLC21にある一定値 E_c 以上の電圧（飽和電圧）を印加することにより、図6（D）と（G）に示すように、螺旋構造が消失し、印加電圧の極性に応じて液晶分子が第1又は第2の配向方向21A、21Bに配向した第1又は第2の強誘電相となる。

【0080】また、AFLC21に中間レベルの電圧を印加すると、液晶分子の永久双極子と電界との相互作用により、印加電圧の極性及び印加電圧の絶対値に応じて、液晶分子の描く二重螺旋構造が歪む。この歪みに伴って平均的な光学軸が傾く。

【0081】また、印加電圧Eの極性及び大きさに応じて、第1又は第2の配向状態にある液晶分子の一部が第2又は第1の配向状態に変化する。配向状態が変化する分子の数（割合）は、印加電圧Eが大きくなるに従って多くなる。また、液晶分子の、印加電圧に応じたコーン上を動く。さらに、印加電圧に応じて、液晶分子の回転が抑制され、液晶分子が電界に垂直な方向に傾く。

【0082】即ち、印加電圧による二重螺旋構造の歪みと、配向状態の切り替わり、液晶分子のコーン上の動き、回転の抑制による傾きの複合作用により、液晶分子の平均的な配向方向は印加電圧に応じて連続的に変化する。

【0083】これらのことは、印加電圧に応じて液晶分子の二重螺旋構造が歪むと共に、螺旋の軸が印加電圧に応じて傾く（スメクチック層の法線に対し）ことに実質的に等価である。液晶分子の平均的な配向方向は印加電圧に応じて連続的に変化する。従って、第1の実施の形態と同様に、液晶分子の平均的な配向方向を連続的に変化させて、任意の中間階調を表示させることができる。

【0084】化2の液晶組成物を使用する場合も、ほぼ同様の動作により、AFLC21のダイレクタが印加電圧に応じて連続的に変化する、任意の階調を表示することができる。

【0085】第1～第3の実施の形態においては、強誘電的相互作用の強いAFLC21を使用した方が、強誘電的相互作用の弱いAFLC21を使用してもよい。この場合、印加電圧に応じて第1又は第2の配向状態にある液晶分子が順次第2又は第1の配向状態に変化するという現象は起こりにくくなる。

【0086】このため、例えば、飽和電圧 E_c 以下の電圧を印加した場合には、図14（A）～図14（C）に示すように、第1の配向状態の液晶分子と第2の配向状態の液晶分子が、SmCA^{*}相の層毎に順次反転する状態が維持されるが、破線で示すように、各液晶分子が印加電圧に対応するコーン上の動きと回転の抑制による傾きのため、そのチルトが変化する。このため、ダイレクタの方向は第1と第2の配向方向21A、21Bとの間で連続的に変化する、無数の中間配向状態を設定することができる。

【0087】この場合も、印加電圧の変化に伴う第1の配向状態にある液晶分子と第2の配向状態の液晶分子の割合の変化と、前駆現象による液晶分子の傾き角の変化との複合作用により、ダイレクタはほぼ第1と第2の配向方向21A、21Bとの間で連続的に変化する。従って、無数の中間配向状態を設定することができる。

【0088】この発明の液晶表示素子の素子の構造、駆動方法、駆動波形等は、上記実施の形態に限定されず、任意に変更可能である。例えば、偏光板23と24の透過軸23A、24Aを互いに平行に配置してもよい。また、偏光板の光学軸は吸収軸でもよい。また、一方の偏光板の光学軸を第1又は第2の配向方向21A又は21Bに平行又は直角とし、他方の偏光板の光学軸を一方の偏光板の光学軸に平行又は直交させてもよい。

【0089】また、本発明はTFTをアクティブ素子とする強誘電性液晶表示素子に限らず、MIMをアクティブ素子とする強誘電性液晶表示素子にも適用可能である。

【0090】

【実施例】

（第1の実施例）この発明の反強誘電性液晶を用いた液晶表示素子の印加電圧に対する透過率の関係を図15に示す。図15はAFLC21として化1に示す組成を有し、I-SA転移温度が68℃、SA-SCA^{*}転移温度が54℃、自発分極が138nC/cm²、チルト角が30.4°（コーン角60.8°）の反強誘電性液晶を螺旋が解けた状態で使用し、配向処理方向及び偏光板の透過軸の方向を図3に示したように設定し、各選択期間TSを60μsとし、図11（B）に示すように絶対値が同一の電圧を有する駆動パルスを用いた2つのフレームで異な

った極性とし、書き込み電圧を0V～10Vの範囲で変化させた時の印加電圧と透過率の関係を示す。このグラフから明らかなように、この液晶表示素子及びこの駆動方法によれば、書き込み電圧を変化させることにより、透過率が連続的に変化し、さらに、書き込み電圧に応じて表示階調がほぼ一義的に定まり、階調表示が可能になる。

【0091】（第2の実施例）図16はAFLC21として化2に示す組成を有する反強誘電性液晶を螺旋が解けた状態で使用し、配向処理方向及び偏光板の透過軸の方向を図3に示したように設定し、各選択期間TSを60μ秒とし、対向する電極17と13との間に±20V、0.1Hzの三角波を印加して得られたものである。

【0092】この液晶において、印加電圧に応じた上述の分子の挙動が行われていることは、例えば、図17(A)～(I)に示す偏光顕微鏡写真の図等から判別することができる。例えば、図17(I)～(A)は、この順に、無電界状態から充分高い電圧を印加した状態までのテストセルの偏光顕微鏡による透過率の変化を示している。

【0093】ここで、無電界状態では、図17(I)に示すように、ほとんど全面が「黒」、即ち、光遮断状態であり、点状にごくわずかに「白」、即ち、光透過状態の領域が存在するにすぎない。

【0094】印加電圧を順次増加すると、図17(I)～(G)に示すように、「黒」の領域と「白」の面積はほとんど変化しないが、全体が明るくなる。このことは、「黒」領域の液晶分子が印加電界との相互作用により、コーンに沿って動き、その配向状態を変化させていることを示している。

【0095】さらに、印加電圧を上昇すると、図17(G)～(C)に示すように、「白」の領域の面積が増加し、「黒」の領域の面積が減少する。このことは、「黒」の領域の液晶分子（第1の配向状態にあるとする）がほぼドメイン単位で第2の配向状態に変化したことを示している。即ち、その微小領域の液晶が強誘電相に変化したことを示している。また、「黒」の領域の透過率が高くなる。このことは、印加電界との相互作用により、「黒」の領域の液晶分子が、コーンに沿って動いていることを示している。

【0096】さらに、印加電圧を上昇すると、図17(C)～(A)に示すように、「白」の領域の面積が増加し、「黒」の領域の面積が減少する。この段階では、この「黒」の領域の透過率はほとんど変化していない。このことは、液晶分子の配向状態が微小領域単位で一括して変化していることを示している。

【0097】（第3の実施例）図18はAFLC21として化1に示す組成を有する反強誘電性液晶を螺旋を維持した状態で使用し、配向処理方向及び偏光板の透過軸

の方向を図3に示したように設定し、対向する電極17と13との間に±20V、0.1Hzの三角波を印加して得られたものである。

【0098】この液晶において印加電圧に応じた上述の分子の挙動が行われていることは、例えば、この液晶のコノスコープ像から判別することができる。例えば、図19(B)は、無電界時のこの液晶のコノスコープ像を示す。この像には、上下左右の4方向に互いに分離した明部が存在している。このことは、無電界時に螺旋構造が存在することを示している。

【0099】また、正極性の電圧を印加した状態では、図19(A)に示すように、図19(B)に示す左右方向の白部が連結し、上下方向の白部は分離している。このことは、液晶分子がコーンに沿って動き、螺旋構造がある程度解けていることを示している。しかも、印加電圧の極性を反転する（負極性とする）ことにより、図19(C)に示すように、コノスコープ像はほぼ点対称的に反転する。このことから、上記液晶は、液晶分子が印加電圧に応じてコーン上で傾くと共に回転の抑止によりコーンから離れて傾いていることが判別できる。

【0100】従って、この液晶をAFLC21として使用することにより、図18に示す特性により、任意の階調を表示することができる。

【0101】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の反強誘電性液晶表示素子は、強誘電相と反強誘電相の間の無数の中間配向状態を有するので、この中間配向状態を用いて中間調を表示することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態にかかる液晶表示素子の構造を示す断面図である。

【図2】図1に示す液晶表示素子の下基板の構成を示す平面図である。

【図3】偏光板の透過軸と液晶分子の配向方向の関係を示す図である。

【図4】反強誘電性液晶の液晶分子の描く二重螺旋構造を説明するための図である。

【図5】基板間に封止された液晶分子の配向状態を説明するための図である。

【図6】印加電圧と液晶分子の配向との関係を説明する図であり、(A)は電圧を印加していない時の液晶分子の配向を説明するための図であり、(B)と(C)は第1の極性の中間電圧を印加した時の液晶分子の配向を説明するための図であり、(D)は第1の極性で十分大きい電圧を印加した時の液晶分子の配向を説明するための図であり、(E)と(F)は第2の極性の中間電圧を印加した時の液晶分子の配向を説明するための図である。

(G)は第2の極性で十分大きい電圧を印加した時の液晶分子の配向を説明するための図である。

【図7】液晶分子の描くコーンを説明する図である。

【図8】可視光帯域の光の波長より短い距離内に配向状態の異なる領域が形成された状態を模式的に示した図である。

【図9】この発明の第1の実施の形態の反強誘電性液晶表示素子に低周波の三角波電圧を印加した時の印加電圧－透過率特性の一例を示すグラフである。

【図10】この発明の第1の実施の形態の反強誘電性液晶表示素子に低周波の三角波電圧を印加した時の印加電圧－透過率特性の他の例を示すグラフである。

【図11】この発明の一実施の形態の液晶表示素子の駆動方法を説明するためのタイミングチャートであり、

(A)はゲート信号、(B)はデータ信号、(C)は各画素に保持される電圧を示すタイミングチャートである。

【図12】印加電圧と液晶分子の配向との関係を示す図であり、(A)は電圧を印加していない時の液晶分子の配向を説明するための図であり、(B)と(C)は第1の極性の中間電圧を印加した時の液晶分子の配向を説明するための図であり、(D)は第1の極性で十分大きい電圧を印加した時の液晶分子の配向を説明するための図であり、(E)と(F)は第2の極性の中間電圧を印加した時の液晶分子の配向を説明するための図であり、(G)は第2の極性で十分大きい電圧を印加した時の液晶分子の配向を説明するための図である。

【図13】二重螺旋構造を保持した状態でAFLCを基板間に配置した状態を説明するための図である。

【図14】反強誘電性の相互作用の小さい液晶表示素子に中間電圧を印加したときの液晶分子の配向とその傾きを

を説明するための図であり、(A)は電圧無印加時の配向状態を示す図、(B)は第1の極性の中間電圧を印加した時の配向状態を示す図であり、(C)は第2の極性の中間電圧を印加した時の配向状態を示す図である。

【図15】この発明の第1の実施の形態の液晶表示素子の実施例の印加電圧－透過率特性を示す図である。

【図16】この発明の第2の実施の形態の液晶表示素子の実施例の印加電圧－透過率特性を示す図である。

【図17】図16に示す特性を示す液晶表示素子の偏光顕微鏡写真を示す図である。

【図18】この発明の第3の実施の形態の液晶表示素子の実施例の印加電圧－透過率特性を示す図である。

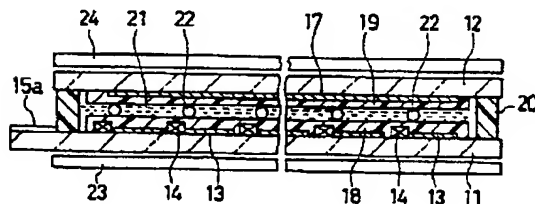
【図19】(A)乃至(C)は、図18に示す特性を示す液晶表示素子のコンスコープ像を示す図である。

【図20】従来の反強誘電性液晶表示素子に低周波の三角波電圧を印加した時の、印加電圧－透過率特性を示すグラフである。

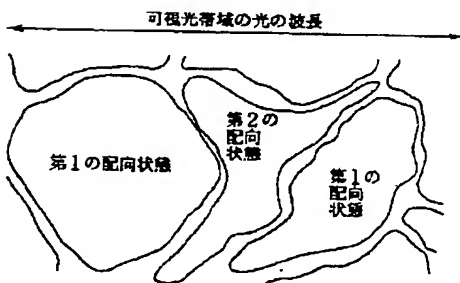
【符号の説明】

11…透明基板(下基板)、12…透明基板(上基板)、13…画素電極、14…アクティブ素子(TFT)、15…ゲートライン(走査ライン)、16…データライン(階調信号ライン)、17…封向電極、18…配向膜、19…配向膜、20…シール材、21…反強誘電性液晶(AFLC)、22…ギャップ材、23…偏光板(下偏光板)、24…偏光板(上偏光板)、31…行ドライバ(行駆動回路)、32…列ドライバ(列駆動回路)

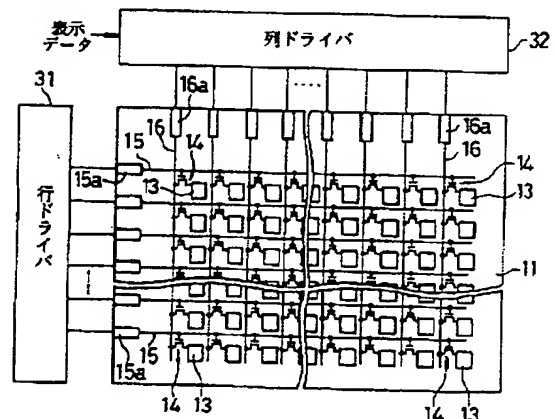
【図1】



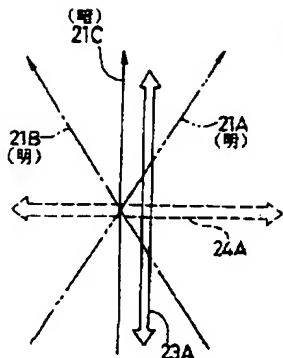
【図8】



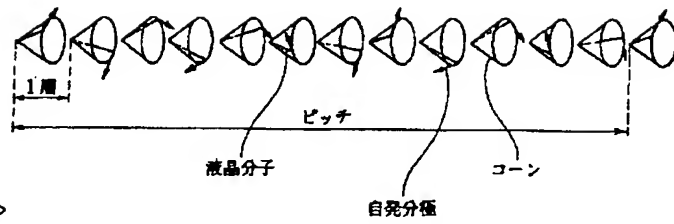
【図2】



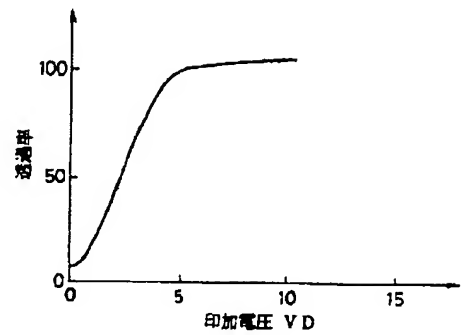
【図3】



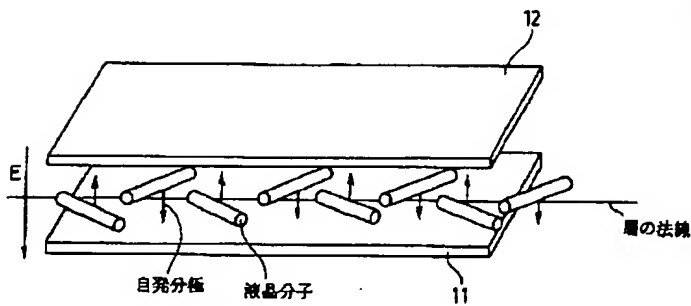
【図4】



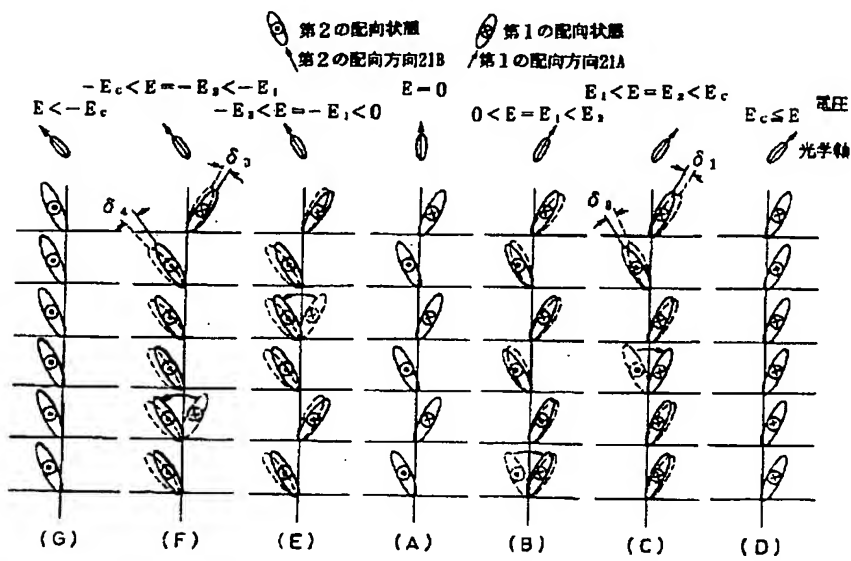
【図15】



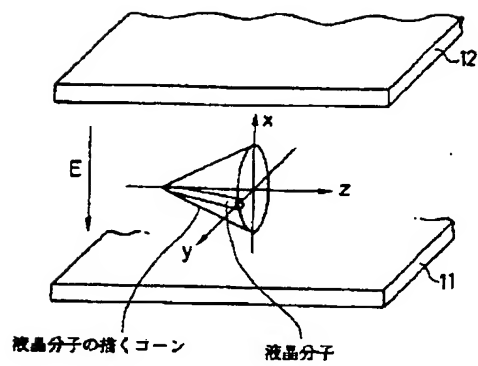
【図5】



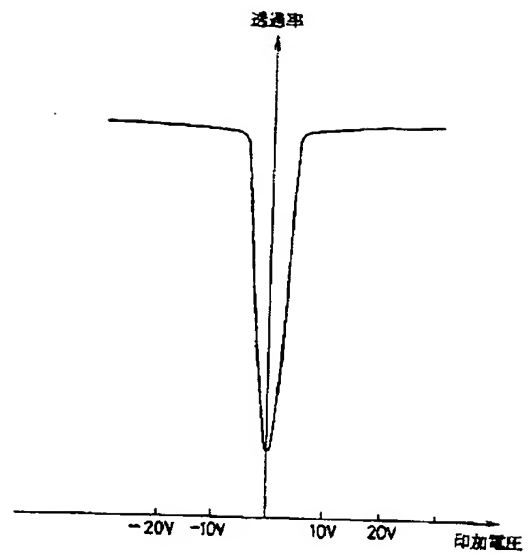
【図6】



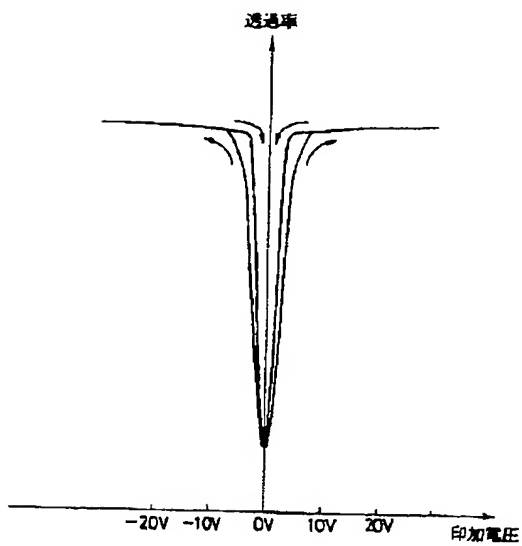
【図7】



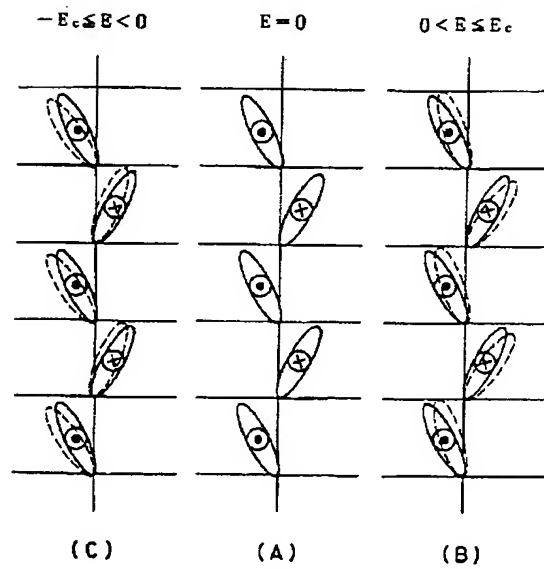
【図9】



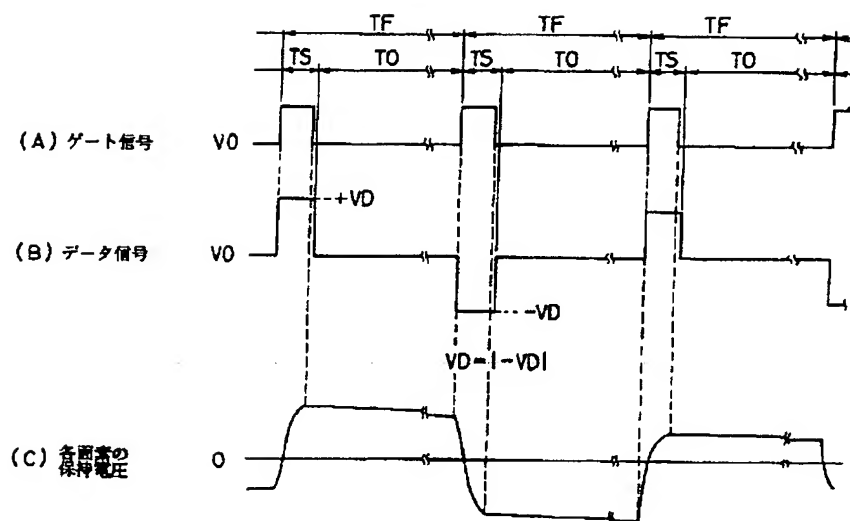
【図10】



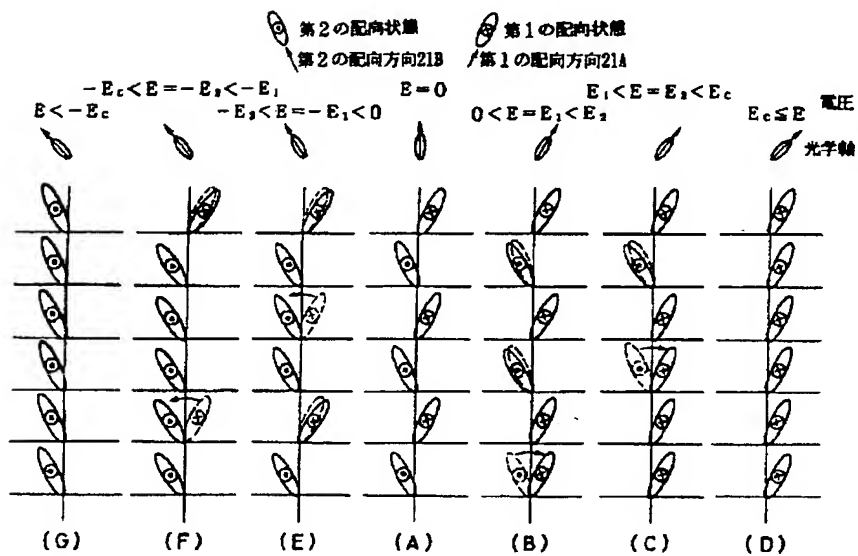
【図14】



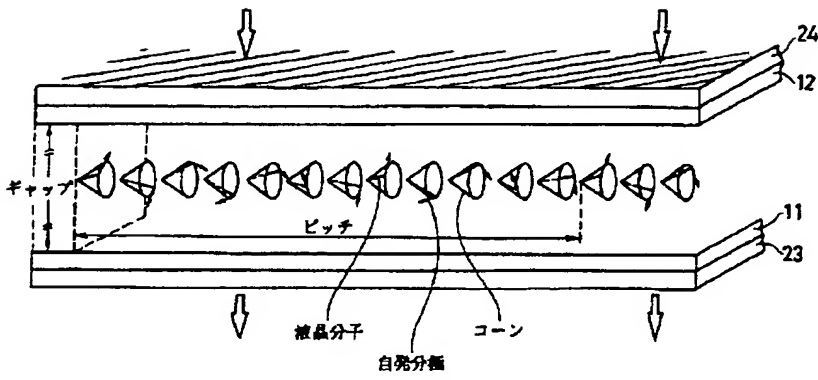
【図11】



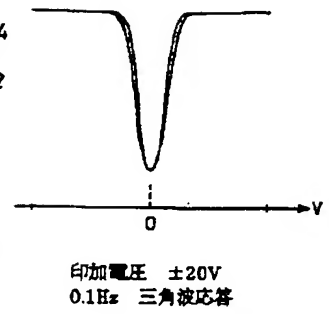
【図12】



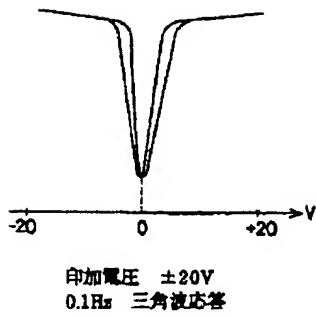
【図13】



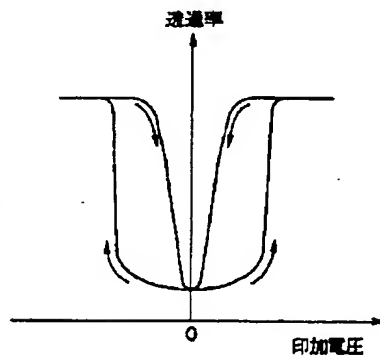
【図16】



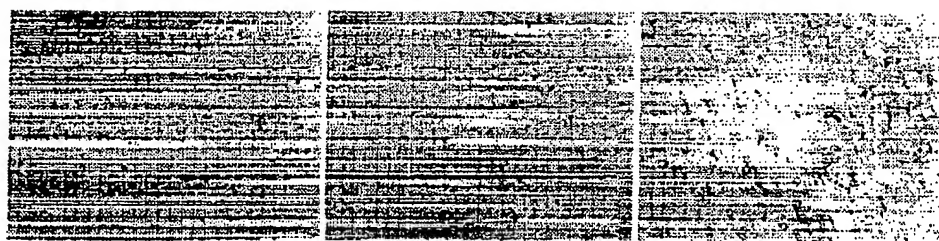
【図18】



【図20】



【図17】



(A)

(B)

(C)



(D)

(E)

(F)

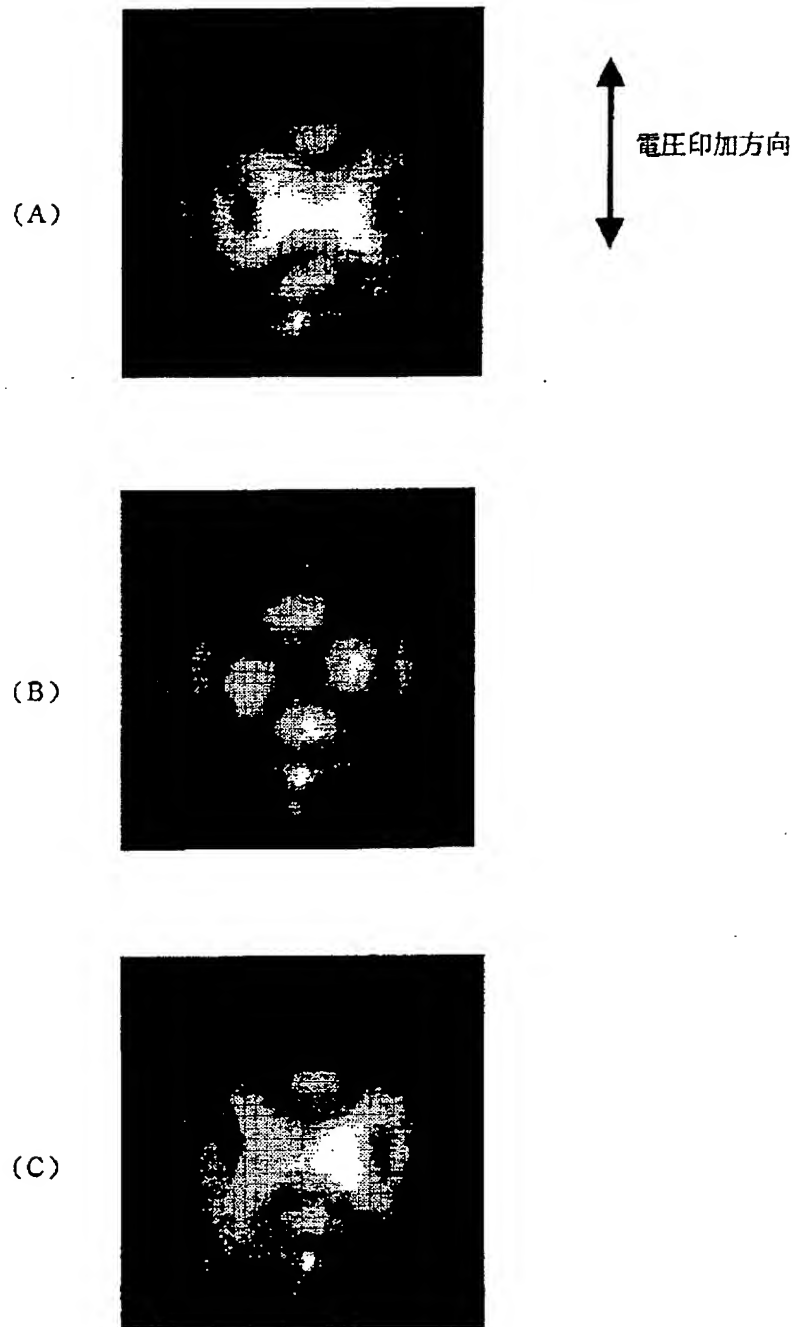


(G)

(H)

(I)

【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 下田 悟

東京都八王子市石川町2951番地の5 カシ
オ計算機株式会社八王子研究所内